

**Elektrische Ströme
in der Mundhöhle**

Von Georg Schmidberger



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus der proth.-orthop. Abt. (Leiter: Prof.Dr.Dr. Paschke)
der Universitäts-Klinik für Zahn-,Mund-u.Kieferkrankheiten
Vorstand Prof.Dr.Dr. Peter

ELEKTRISCHE STRÖME IN DER MUNDHÖHLE

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
zu Erlangen

vorgelegt
von
Georg Schmidberger
aus Waltenhausen



Dekan : Professor Dr. K o r t h

Referent: Professor Dr.Dr. P a s c h k e

Tag der mündlichen Prüfung: 19. Sept. 1957

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Einleitung und Problemstellung	1
Überblick über bisherige Forschungsergebnisse	3
Die Entstehung galvanischer Elemente	10
Die Herkunft physiologischer Potentiale	16
Dauerpotentiale	17
Meßinstrumente	18
Messungen der Potentiale	
a) bei füllungsfreien Gebissen	19
b) zwischen Goldfüllungen	22
c) zwischen Gold- und Amalgamfüllungen	23
d) zwischen Amalgamfüllungen	25
e) zwischen Amalgam und Schleimhaut	29
Diskussion	31
Zusammenfassung	37
Literaturverzeichnis	39

Einleitung und Problemstellung

In den letzten Jahren wurde die Öffentlichkeit häufig durch Berichte in Tageszeitungen und Fachzeitschriften beunruhigt, die sich mit den in der Mundhöhle auftretenden galvanischen Strömen infolge metallischer Füllungen und deren Einfluß auf den allgemeinen Gesundheitszustand des Menschen befaßten. Manche dieser Abhandlungen waren hinsichtlich der gefolgerten Bedenken sehr übertrieben. Patienten weigerten sich daraufhin oft, Amalgam- und Goldfüllungen oder Brücken ihrem Gebiß eingliedern zu lassen. Sie begründeten ihre Abneigung damit, daß sie sich nicht noch weitere gesundheitsschädliche "Elektrizitätswerke" in ihrem Mund verankern lassen wollten. Es ist äußerst schwierig, diesen Patienten den wahren Sachverhalt klarzulegen, da es eine Eigenart vieler Menschen ist, den sensationellen Zeitungsberichten mehr Glauben zu schenken als der fundierten wissenschaftlichen Forschung.

Der folgende kurze geschichtliche Überblick soll zeigen, wie lange schon zum Zwecke zahnärztlicher oder kosmetischer Maßnahmen Metalle verwendet wurden.

Bereits im griechisch-römischen Altertum verarbeiteten die Menschen Gold im Munde. Goldplättchen, oft in Verbindung mit Edelsteinen, wurden zum Schmucke des Mundes an den Zähnen befestigt, wie aus Funden ersichtlich, die im Wiener Nationalmuseum aufbewahrt werden. Im Sarkophag eines phönizischen Grabes entdeckten Archäologen eine etwa 2 Gramm schwere Goldschiene, mit der zwei aus Elfenbein geschnitzte Zähne wie bei einer Basisbrücke im Munde befestigt waren. In Etruskergräbern der Toskana lagen Kiefer, in deren Zahnlücken künstlich geschnitzte Zähne mit Golddraht korbflechtartig eingearbeitet waren. Das Alter dieses Zahnersatzes wurde auf etwa 3000 Jahre geschätzt. (Angaben nach Prof. Greve.)

Papyri berichten, daß die Ägypter schon um 900 v.Chr. gelockerte Zähne mit Golddraht befestigten. Ähnliche Methoden sind auch von den Griechen und Römern bekannt.

Im Altertum war es üblich, kariöse Defekte der Zähne mit Alaun und Mastix zu füllen. Erst im Mittelalter wurden durch Karies entstandene Zahndefekte metallisch mit Blei ausgestopft. Bourdet (1757), der Leibarzt Ludwig XV., verwendete zu Füllungen nicht mehr Blei, sondern gerollte Zinnfolien, die er in die Cavitäten stopfte. Der Fortschritt bestand darin, daß Bourdet ein unedles Metall durch das mundbeständige Zinn ersetzte. Bourdet berichtet ferner über erfolgreiche Replantation gefüllter Zähne und das Einsetzen künstlicher "Gebisse" auf Goldbasis mit Zahnfleisch aus Emaille. Gold zu Zahnfüllungen verwendete erstmals James Gardette (1776), ein französischer Zahnarzt in Philadelphia. Pierre Mouton (1746), Zahnarzt in Paris, fertigte die ersten Hülsenkronen aus Gold, "les calottes d'or", die er auf Zähne setzte.

Die nachweisbar erste Amalgamfüllung stellte der Chemiker Regnart (1818) aus dem Durzet'schen Metall in Verbindung mit 1/10 Teil Quecksilber her.

In den letzten Jahrzehnten wurden noch andere Metalle wie Rein-Aluminium, Cr-Co-Legierungen, Silber-Zinn-Legierungen, Pd-Ag-Legierungen, Spargolde und Stahl zur Anfertigung von Zahnersatz verwendet.

Bei der gleichzeitigen Verwendung verschiedener Metalle im Munde ergab sich das Problem, ob und in welchem Umfange diese Metalle galvanische Elemente erzeugen. Ferner: Können diese Ströme den Patienten schädigen und welche pathologischen Erscheinungen wurden im einzelnen ausgelöst? Begünstigen galvanische Ströme tatsächlich den Zahnverfall? Können diese Ströme gemessen werden und wie groß sind die auftretenden Potentialdifferenzen? Gibt es Möglichkeiten, diese Potentialdifferenzen wenigstens teilweise zu verhindern? - Das sind die Probleme, die durch die Verwendung von einem oder mehreren Metallen in der Mundhöhle eines Patienten entstehen.

Überblick über bisherige Forschungsergebnisse

Als erster beschrieb Hill (1885) das Auftreten eines elektrischen Stromes in der Mundhöhle eines Patienten. Der Patient empfand den Strom, als Hill eine Zinnfolienrolle in dessen Mund brachte und dabei mit dem freien Ende der Zinnrolle die Goldbasis eines Zahnersatzes berührte.

In einer Abhandlung über die Mundbeständigkeit und Formbeständigkeit von Amalgamfüllungen übte Truman in Philadelphia Kritik an den Amalgamfüllungen wegen ihrer elektrochemischen Wirkungen. Er schrieb, daß ein elektrischer Strom entstehe, wenn zwei Metalle durch einen elektrischen Leiter verbunden und in eine dissoziierte Flüssigkeit getaucht werden. Dieser Gedanke war richtig, obwohl wir nach unseren heutigen physikalischen Kenntnissen seinen anderen Anschauungen nicht beipflichten können.

H. J. Tholuck schreibt in seinem Bericht "Entstehung und Wirkung elektrischen Stromes in der Mundhöhle", Chase (1880) habe behauptet, daß Amalgamfüllungen dem Golde überlegen seien. Nur Amalgamfüllungen würden bei der "Verrostung" Zinn- und Silberoxyde bilden, die imstande wären, das neben der Füllung liegende Zahnbein wieder selbsttätig zu ersetzen. Die Haltlosigkeit dieser Hypothese vom "selbsttätigen Zahnbeinersatz" durch Oxydierung von Metallen liegt auf der Hand.

Tholuck beschreibt einen Fall, den er selbst behandelte. Eine Frau hatte blitzartiges Stechen im Gesicht, das immer eine Zeitlang nach dem Essen auftrat. Die Ursache war eine Klammer, die an einen Goldbügel gelötet war und um einen Eckzahn mit einer Amalgamfüllung lag. Diese Komplikation konnte auch durch einige Tropfen Milchsäure ausgelöst werden. Nach dem Essen hatten sich die in der Mundhöhle zurückgebliebenen Speisereste durch die Bakterienflora des Mundes in Milchsäure verwandelt. Tholuck nahm an, es hätten sich durch die Übersäuerung des Speichels optimale Bedingungen zur Bildung eines galvanischen Elementes eingestellt.

A. Witzel (1899) schrieb, daß im allgemeinen der trockene Kontakt zweier Füllungen, z.B. einer mit Amalgam nachgestopften Goldfüllung, weniger gefährlich sei als der feuchte Kontakt über den Speichel, der durch die Berührung einer Flamme oder einer Amalgamfüllung mit einer Krone oder Goldfüllung entstehe.

Dennoch findet man über diese Erkrankung vor dem ersten Weltkrieg relativ wenig Aufzeichnungen in der Fachliteratur. Später häuften sich jedoch die Berichte über die Bildung von Lokalelementen im Munde. Man kann vielleicht daraus schließen, daß durch das Zusammentreffen verschiedener unedler Golderauslegierungen, die man sie in Deutschland während des Krieges verwenden konnte, die Bildung solcher Elemente weitgehend begünstigt wurde.

Durch die Verwendung unedler Metalle, deren Einwirkung in den Mund eines Patienten heute als Mundfäule gilt, vermehrten sich die Fälle der Lokalelementbildung, wobei häufig die noch näher zu beschreibenden pathologischen Zustände auftraten. Man bemerkte, daß die Ursache dieser Erkrankungen tief mit galvanischen Elementen waren, wurde dadurch erreicht, daß trotz größter Therapieversuche erst dann eine Besserung eintrat, wenn die in Frage kommenden metallischen Füllungen aus dem Mund entfernt wurden. Über das Auftreten elektrochemischer Vorgänge, die unter bestimmten Voraussetzungen durch Metalle in der Mundhöhle ausgelöst werden, herrschte kein Zweifel mehr. Von verschiedenen Wissenschaftlern wurde nun versucht, dieses Problem einer physikalischen Lösung nanezufuhren. Dabei wurden Theorien aufgestellt, die heute nicht mehr haltbar erscheinen.

Thelack z.B. schrieb: "Taucht man einen Metallstab in eine Salzlösung, so treten aus ihm Ionen aus, wenn der Lösungsdruck größer ist als der osmotische Druck der Metallionen in der Lösung. Durch diesen Vorgang wird die elektrische Neutralität gestört, das Metall negativ geladen. Die Metalle, nach der Größe des Lösungsdruckes zusammengestellt, nennt man elektrische Span-

nungsreihe". Das ist im Prinzip richtig. Wenn nun jedoch Tholuck meint, daß bei neutralem wie bei alkalischem Speichel keine Reaktion erfolgen könne, so sind wir nicht seiner Meinung. Galvanische Elemente entstehen sowohl bei sauren als bei alkalischen Elektrolyten.

W. Miller stellt fest, daß galvanische Ströme nicht zwischen Zahnschmelze und Füllung bestünden, sondern ihr Dasein lediglich der Heterogenität der metallischen Füllungen verdankten.

Elektrische Ströme können nach Miller nur auftreten:

1. wenn eine Metallfüllung nicht durchweg dieselbe Dichte hat;
2. wenn zwei aus verschiedenen Metallen hergestellte Füllungen sich berühren;
3. wenn eine Zahnersatzplatte aus verschiedenen Goldlegierungen zusammengesetzt ist;
4. wenn eine Metallklammer, ein metallischer Zahnersatz, eine Krone, eine Brücke oder ein Regulierungsapparat miteinander in Berührung kommen.

Daraus geht hervor, daß Miller nicht die eigentlichen galvanischen Elemente in der Mundhöhle kennt, sondern nur Korrosionsströme, die nur einen Teil der im Munde auftretenden und meßbaren Potentialdifferenzen darstellen.

J. Deutschländer, F. Erkes, J. Öttl und R. Rheinwald und andere berichten ferner über viele verschiedenartige Erkrankungen, die durch galvanische Ströme infolge metallischer Füllungen im Munde auftreten können.

Sie lassen sich in zwei Gruppen einteilen:

1. Intoxikationen durch Schwermetallionen;
2. Störungen durch galvanische Ströme.

Ad 1

Bei Intoxikationen durch Schwermetallionen lassen sich akute und subakute Vergiftungen unterscheiden. Die akuten Intoxikationen haben die bekannten Symptome, wie sie auch bei anderen Schwermetallvergiftungen auftreten. Ein Hauptsymptomskomplex bei Vergiftungen durch unedle, stark kupferhaltige Legierungen, sowie durch Kupferazetat, Kupfersulfat und Grünspan sind die durch die Metallverbindungen bedingten lokalen Reizwirkungen. Sie führen häufig zu Magen- und Darmstörungen, Erbrechen, Unwohlsein, Übelkeit und Diarrhoe.

Die subakuten Intoxikationen äußern sich mehr durch unbestimmte Erscheinungen wie Arbeitsunlust, Abgespanntheit und Tremor.

J. Witt berichtet in diesem Zusammenhang einen sehr eindrucksvollen Fall, bei dem die Vergiftungserscheinungen von einem Kupferamalgamkranz ausgingen, über dem eine nicht abschließende Krone saß und ein Lokalelement mit hoher Korrosion bildete. Eine Grünspanseiche bedeckte den Kronenring:



Von diesem Grünspan bedingten kleine Wunden in den Mund- und Darmtrakt, worauf der Patient ständig über Magenbeschwerden klagte. Nach Entfernung der Krone mit dem Aufbau verschwanden diese üblen Erscheinungen.

Ad 2

Als Hauptsymptome bei Störungen durch den galvanischen Strom beobachtete man folgende Phänomene:

Krankheiten der Schleimhaut (Gingiva und Mucosa), Schleimhautentzündungen, Ulcerationen, Mäller'sche Glossitis, Ischämie, Zahnfleischbluten, Leukoplakien, Knochentaschen und Anzeichen von Parodontose. Ferner wurden neuralgische Beschwerden, Neuritiden, blitzartiges Stechen im Gesicht und starke Kopfschmerzen beobachtet.

Fälle dieser Art wurden vielfach in der Fachliteratur beschrieben, konnten jedoch nach den bisherigen Angaben durch keine Therapie gemildert werden. Wie schon bemerkt, wurde die Aufmerksamkeit der Wissenschaft erst durch diese Therapieresistenz auf gewisse elektrische Ströme gelenkt, die durch metallische Füllungen im Munde auftreten. Die Messungen dieser Ströme ergaben meist hohe Potentialdifferenzen. Der Versuch, eine allgemeinverbindliche Maximalhöhe der Potentialdifferenzen festzulegen, die noch keine Schädigung des Organismus zur Folge hat, ist bis heute nicht gelungen. Es wurden sogar Ströme von 1,1 V gemessen, ohne daß von seiten der Patienten über besondere Schmerzen geklagt wurde. Hingegen traten in einzelnen Fällen schon bei geringeren Spannungen im Munde die bereits erwähnten Beschwerden auf.

Eine allgemeinverbindliche Maximalhöhe der Potentialdifferenz kann aus diesem Grunde unmöglich festgelegt werden. Die Ursache ist ferner darin zu suchen, daß die Pathogenität von einer $I \cdot t$ -Kurve abhängt (I = Stromstärke, t = Zeit). Erst wenn das Produkt $I \cdot t$ eine als relativ zu bezeichnende Höhe übersteigt, wirken die Ströme pathogen.

Es ist bekannt, daß sensible Menschen schon die geringsten Affektionen registrieren. Schwächste Ströme werden wahrgenommen, wenn durch die Ionisation Geschmacksrezeptoren irritiert werden, wodurch im Munde saurer Geschmack empfunden wird. Erkrankungen, wie sie durch elektrische Ströme im Munde hervorgerufen werden, sind auf Kiefer-, Mund- und Kopfbereich lokalisiert.

Zusammenfassend ist zu sagen, daß die Pathogenität elektrischer Ströme von einer $I \cdot t$ -Kurve, von der individuell verschiedenen Sensibilität und der topographischen Einwirkung der Ströme im Munde abhängt.

Wenn im Munde eines Patienten ein pathologisches Phänomen unklarer Genese vorliegt, das durch keine Therapie zu beseitigen ist, müssen die eventuell zwischen metallischen Zahnfüllungen vorhandenen Potentialdifferenzen mit einem geeigneten Meßinstrument erfaßt werden.

Liegt die elektromotorische Kraft über 100 mV, sollen nach H. Rheinwald die in Frage kommenden metallischen Füllungen entfernt werden, um das Potential zu verringern. Dabei müssen aus physikalischen und sozialen Gründen zuerst die unedleren Füllungen entfernt werden. Erst wenn die elektromotorische Kraft damit noch nicht wesentlich verringert werden konnte, ist es ratsam, auch die anderen metallischen Füllungen zu beseitigen.

F. Erkes hatte innerhalb von sechs Wochen 11 typische Fälle beobachtet, bei denen die aus verschiedenen Metallen bestehenden Zahnfüllungen neuralgieforme Schmerzen in den Gesichtsregionen der Patienten verursachten. Erkes empfahl deshalb, bei Neuralgien im Bereich des Trigeminus zunächst zu untersuchen, ob die Ursache nicht in hohen elektromotorischen Kräften liegt, die von metallischen Zahnfüllungen herrühren.

Erkes berichtet z.B. über folgenden Fall: Ein Patient hatte 4^{te} wurzelgefüllt und eine Goldkrone. 4^{te} war seit einem halben Jahr mit einer Amalgamfüllung versehen. Plötzlich kam es beim Aufeinanderbeißen der beiden Zähne zu blitzartigen Schmerzen in der rechten Hande. Diese Erscheinung hielt nur kurz an, dann wenn sich die mit metallischen Füllungen versehenen Zähne länger berührten. Der Patient wurde erfolgreich mit Vitamin B₁, Isoniprin und Koffein behandelt. Klinische und röntgenologische waren die Zähne ohne Befund. Erkes entfernte nun die Amalgamfüllungen und ersetzte sie durch Goldinlays, und sofort verschwanden die Beschwerden. Diese Schmerzen wurden zweifellos durch die Anwesenheit verschiedenerartiger metallischer Fremdkörper am Munde verursacht.

Unter dem Thema "Stomatites et leucoplacies électro-galvaniques" berichtet A. Touraine über Affektionen, die durch chronische Reizung der Mundschleimhaut entstanden, wenn ein elektrischer Strom durch das Vorhandensein verschiedener Metalle erzeugt wurde. Touraine schreibt, daß diese Metalle in Verbindung mit dem Speichel ein regelrechtes Element bildeten, unter

dessen Einfluß Leukoplakien und Stomatiten entstünden. Trotz der geringen Stärke dieser Ströme; die je nach der Art der Metalle schwankt, genügen sie, Störungen hervorzurufen. Als erste funktionelle Symptome nennt er einen metallischen Geschmack im Munde, gelegentlich ein Brennen der Mukosa, Zahnschmerzen und Erbrechen. Als sichtbare Anzeichen erwähnt er eine metallische Verfärbung der Goldarbeiten und seltsamerweise auch der Schleimhaut. Es entstehen Entzündungen des Zahnfleisches, der Alveolen, der Zunge und der Wange.

Zungenkrankheiten wie Mollersche Glossitis, Huntersche Glossitis und Haarzunge wurden schon von F. Erkes, J. Öttl, U. Rheinwald und anderen angegeben. Diesen mit Rötungen des Zahnfleisches beginnenden Entzündungen folgen Schwellungen, Erosionen, manchmal sogar Paradentose. Durch den ständigen chronischen Reiz treten nicht selten Leukoplakien auf.

U. Rheinwald berichtet über eine 24jährige Patientin, die seit 3 Jahren an einer chronischen Gingivitis litt, welche stellenweise bereits zur Atrophie des Zahnfleisches führte. Die Gingiva wurde schwammig, stark gerötet und blutete bei jeder Berührung. Allgemeine Behandlung, Injektionen von großen Dosen Vitamin C, örtliche zahnärztliche Maßnahmen, Beseitigung von mechanischen Reizen, Lokalbehandlung mit allen möglichen Mitteln konnten das Krankheitsbild, das die Patientin auch psychisch belastete, nicht ändern. Die Patientin wurde wegen dieses Leidens der Klinik zugewiesen. Die Untersuchungen ergaben keine Besonderheiten. Das Gebiß war gut gepflegt, der Zahnsteinansatz nicht nennenswert. Im Blutbild wurde außer einer geringen Leukozytose keine Veränderung festgestellt. Die Inspektion der Mundhöhle zeigte einen goldüberkronten Zahn und Amalgamfüllungen. Angestellte Messungen verrieten hohe Potentiale. Die Patientin erklärte sich mit der Entfernung der Ursachen dieser elektromotorischen Kräfte einverstanden. Zunächst wurde die Amalgamfüllung beseitigt. Darauf trat geringe Besserung ein. Bei einer Nachmessung erwies sich, daß an dem unteren Prämolaren noch erhebliche Spannungs-

differenzen bestanden. Nach Abnahme der Krone erschien ein Amalgamstumpf, der mit der Goldkrone in Kontakt stand. Nach Beseitigung dieses Elementes heilte die chronische Gingivitis binnen weniger Tage aus, das Zahnfleisch straffte sich wieder, und das Allgemeinbefinden der Patientin besserte sich. Bei einer Nachuntersuchung nach einem halben Jahr wurde dieser Zustand als gleich gut befunden.

Die aus der Fachliteratur angeführten Fälle demonstrieren, das das Problem der galvanischen Elemente in der Mundhöhle durch verschiedenartige metallische Füllungen und die daraus resultierenden pathologischen Erscheinungen tatsächlich bestehen und schon reges Interesse hervorgerufen haben.

Die Entstehung eines galvanischen Elementes

Um sich von der Möglichkeit der Bildung galvanischer Elemente durch metallische Fremdkörper in der Mundhöhle zu überzeugen, ist es wichtig, auf die physikalische Seite dieses Problems einzugehen.

Wenn man einen Metallstab in die Lösung eines ihm äquivalenten Salzes taucht, gehen Ionen in Lösung. Ihre Zahl hängt ab:

1. von dem elektrolytischen Lösungsdruck des Metalles;
2. von dem osmotischen Druck der Ionen in Lösung, die die Neigung haben, sich an dem Metallstab niederzuschlagen.

Bei diesem Vorgang wird der Metallstab, Elektrode genannt, mit Elektronenüberschuss aufgeladen, da die in Lösung gehenden Ionen Elektronen am Metallstab zurücklassen.



Verschiedene Metalle haben verschiedenen Lösungsdruck. Wenn sie in Lösung gehen, laden sie sich unterschiedlich mit Elektronen auf. Stellt man die Metalle vom geringsten bis zum größten Lösungsdruck nebeneinander, dann bekommt man die sogenannte "Spannungsreihe". Als Vergleichs- oder Normalelektrode dient die Wasserstoff-Platinelektrode.

Ein Metallstab kann sich zwar mit Elektronenüberschuß aufladen, aber noch keinen Strom liefern. Um ein galvanisches Element zu erhalten, werden zwei verschiedene Elektroden in einen Elektrolyten gebracht und durch einen metallischen Leiter miteinander verbunden. Je weiter diese Metallstäbe oder Elektroden auf der Spannungsreihe voneinander entfernt sind, desto größer ist der meßbare Spannungsunterschied. Dieser Spannungsunterschied wird Potentialdifferenz genannt und in Volt gemessen. Ein Volt ist annähernd die Spannung, die ein Element mit den beiden Elektroden Kupfer und Zink erzeugt (= Voltaelement). Durch die Polarisierung, bei der sich der freiwerdende Wasserstoff an der Anode niederschlägt, ist das Volta-Element für den Dauerbetrieb nicht geeignet.

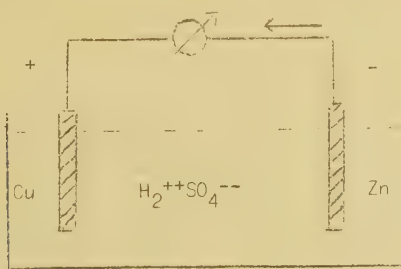


Abb. Volta-Element

Ein Element mit annähernd konstanter Potentialdifferenz ist das Daniell-Element. Dabei sind die beiden Elektroden durch eine semipermeable Wand, die gewöhnlich aus Ton besteht, getrennt. Eine solche Wand ist zwar durchlässig für die Ionen, die zur Vervollständigung des inneren Stromkreises von einer Elektrode zur anderen wandern; sie ist aber nicht durchlässig für den Elektrolyten selbst.

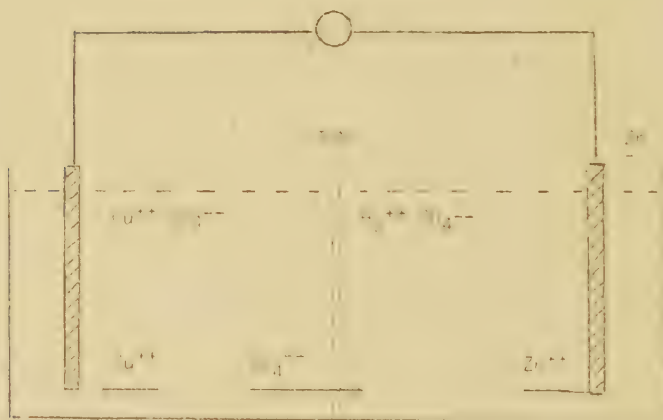
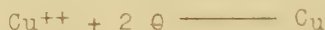


Abb.: Daniell-Element und elektrochemische Vorgänge

Verbindet man die beiden Elektroden miteinander über ein Voltameter, so läßt sich ein Spannungsunterschied feststellen. Durch diese leitende Verbindung kommt ein Stromfluß von der Kathode zur Anode zustande. Dabei spielen sich folgende elektrochemische Vorgänge ab:

Das metallische Zink geht unter Zurücklassung zweier Elektronen in Lösung. An der Kupferelektrode schlagen sich Cu-Ionen aus der dissoziierten Lösung des Kupfer-
vitriols nieder und nehmen dabei die beiden Elektronen auf, die an der Kathode freigeworden waren und über den metallischen Leiter zur Anode flossen. Weil sich Cu-Ionen als metallisches Kupfer an der Anode unter Aufnahme zweier Elektronen niederschlagen, entsteht in dem Elektrolyten ein Überschuß an SO_4^{--} . Dieser Überschuß wandert durch die poröse Tonwand auf den Kathodenteil des Elementes, wo infolge der in Lösung gehenden Zn-Ionen ein adäquater Bedarf an SO_4^{--} besteht. Eine weitere Möglichkeit zur Bildung von Spannungen und Strömen ist durch die sogenannten Konzentrationselemente gegeben. Dabei ist es nicht erforderlich, daß zwei Elektroden aus Metallen mit verschiedenem Lösungsdruck vorhanden sind. Dieses stromliefernde Element entsteht durch Konzentrationsunterschiede verschiedener Elektrolyten und ist in der Lage, elektromotorische Kräfte von einigen hundert Millivolt zu erzeugen.

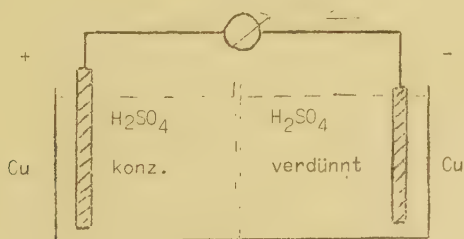


Abb. Konzentrationselement

Ferner darf die Möglichkeit der Entstehung von Korrosionsströmen bei heterogenen Metallstücken nicht außer acht gelassen werden. Dabei lösen sich Ionen aus dem unedleren Teil des Metalles unter elektrochemischen

Vorgängen und schließen sich an den edleren Teilen dieses Metalles nieder.

Ähnlich sind die physikalischen Verhältnisse im Munde. Die metallischen Füllungen bilden Elektroden und der Speichel den Elektrolyten. Potentialdifferenzen können sich bilden zwischen Füllungen verschiedener Metalle (Gold - Amalgam), aber auch zwischen gleichen Metallen (Gold - Gold). Die elektromotorische Kraft zwischen verschiedenen Metallen ist durch die Spannungsreihe verständlich (Volta-Element). Potentialdifferenzen zwischen gleichen metallischen Füllungen lassen sich durch die Konzentrationsunterschiede innerhalb des Speichels und zwischen Speichel und Gewebssäften erklären. Außerdem ist es möglich, das äußerlich zwar gleiche Metall auf der Spannungsreihe nicht konstant sind, wenn z.B. Legierungen sind. Überhitzungen oder zu rasches Abkühlen Lunker bilden und dadurch ein mit porösen Metallgefüge aufweisen. Auch können bei größeren Metallstücken, insbesondere bei Brücken mit Lotstellen, infolge ihrer Inhomogenität ganz erhebliche Korrosionsströme auftreten.

Karl L. Friessner und L. S. Diamond fordern diese Strom folgenden physikalischen Gesetzen:

a) dem Ohm'schen Gesetz $I = \frac{U}{R}$

b) dem Kirchhoff'schen Gesetz: $I_0 = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$

Friessner und Diamond behaupten, es bestehe keine meßbare Abhängigkeit der Potentiale vom pH-Wert des Speichels. Diese Behauptung stimmt nicht ganz überein mit den physikalischen Gesetzen über die Leitfähigkeit von Flüssigkeiten. Denn auch die pH-Verschiebung meßbar. Einmal ist und deshalb von den Autoren als Beeinflussung der auftretenden Potentialschwankungen negiert wird, so kann der Grund hierfür allein schon in einer apparativen Fehlerquelle liegen. Außerdem hängen alle meßbaren Werte noch von Funktionen des menschlichen Körpers ab, deren Zusammenhänge mit diesen Potentialdifferenzen nicht erfaßbar sind, so daß sich die minimale

Änderung der elektromotorischen Kraft durch die geringe p_H -Verschiebung nicht feststellen läßt. Nach H.Hafner schwankt der p_H des Speichels beim Menschen maximal zwischen 6,43 und 7,30.

Da im Speichel stets dissoziierte Salze und Säuren vorhanden sind, ist er in der Lage, einen idealen Elektrolyten zu bilden. Außerdem wird er durch Verschlucken und Kauen ständig weggeschwemmt und durch die Tätigkeit der Speicheldrüsen wieder erneuert. Dadurch unterliegt auch die Konzentration ständigen Schwankungen. Ferner verhindert diese fortwährende Bewegung eine Polarisation, d.h. ein Beschlagen der Elektroden durch elektrolytisch entstandene Gase, die normalerweise eine Gegenspannung erzeugen und die ursprüngliche Spannung zum Erliegen bringen würden. Große Abhängigkeit zeigen die Ströme in der Mundhöhle von folgenden Faktoren:

1. von dem bioelektrischen Grundpotential;
2. von den metallischen Füllungen und ihrem Verhalten in der Spannungsreihe;
3. von der Oberflächenbeschaffenheit der Metalle (Lunker, Inhomogenität, Entmischung von Legierungen);
4. von Kontaktstellen der metallischen Füllungen untereinander (Korrosionsströme);
5. von den Konzentrationsunterschieden des Speichels und des Gewebes (Konzentrationselemente).

Die Herkunft physiologischer Potentiale

In der Mundhöhle können Potentiale auch dann nachgewiesen werden, wenn keine metallischen Elektroden vorhanden sind.

1. Wie bekannt ist, sind in jedem Organismus Potentiale.

Der Hauptsitz der elektrochemischen Kraft ist das Muskel-, Nerven- und Drüsengewebe. Die elektrischen Ströme haben eine bestimmte Richtung. Der Querschnitt eines Muskels oder Nerve ist negativ, der Längsschnitt positiv.

2. Die größte Negativität zeigt bei Muskeln und Nerven

Das Zentrum des künstlichen Querschnittes, die größte Positivität der Äquator. Je nach Art liegen der elektrischen Ströme verschiedener Intensität abgeleitet werden (Ruheströme).

3. Wird der Muskel vom Nerv aus in Tetanus versetzt, so verringert sich der Ruhestrom. Nach Aufheben des tetanischen Reizes nimmt er wieder die alte Größe des Ruhestromes an.

Alle lebenden Gewebe weisen Spannungen auf. Diese erschöpfen sich nach dem Tode der Organismen. Absterbendes Erbgewebe weist immer eine Spannungsabnahme gegenüber dem gesunden.

Tab. II: Tabelle der Spannungen verschiedener biologischer Objekte in mV (gemessen nach der Kompensationsmethode)

Tiere	Muskel quergestr.	Nerven markhaltige	Drüsen
Fische	10 - 50	5 - 10	-
Amphibien	10 - 50	10 - 40	15-30-50
Reptilien	20	-	-
Vögel	20	-	-
Mäuser	40 - 50	10 - 22	-

Pflanzen (Längs- Querschnittpotentiale)

Calendula	(Blatt)	19
Brassica	(Kohl)	40
Polyporus	(Röhrenpilz)	80
Psalliota	(Champignon)	90 - 95

Dauerpotentiale

Doch auch ohne äußeren Eingriff lassen sich von zahlreichen pflanzlichen und tierischen Objekten ständige oder wenigstens länger dauernde Potentialdifferenzen ableiten. Setzt man die Elektroden an unsymmetrischen Stellen von Blättern an, so findet man eine Spannungsdifferenz. Das gleiche ist auf der Haut von Tieren und Menschen feststellbar.

Müller-Hettlingen (1883) und Dubois (1899) fanden sehr konstante Potentialdifferenzen zwischen ruhenden und wachsenden Pflanzenteilen. Alle diese Dauerpotentiale muß man als den Ausdruck einer aktiven Zellttätigkeit ansehen.

Dies gilt auch für die Hautströme, deren Herkunft wesentlich durch die drüsigen Bestandteile der Haut bedingt ist, da Potentialschwankungen von der Salz- und Wasserbewegung dieser Organe abhängen.

E. Herf (1935/36) hat gezeigt, daß diese Hautströme mit Stoffwechselercheinungen verbunden sind und durch Stoffwechselgifte vermindert oder ganz aufgehoben werden können, während geeignete Nahrungsmittelgaben sie verstärken.

In derselben Weise, wie diese Ströme im allgemeinen entstehen, treten sie auch speziell im Mund-, Zahn- und Kieferbereich ganz ohne metallische Füllungen auf. Besonders groß ist die elektromotorische Kraft zwischen

den stoffwechseltrugen Zassen und den drüsigen Bestandteilen des Mundbodens wegen der erhöhten Salz- und Wasserbewegungen der drüsenhaltigen Gewebe.

Meßinstrumente

Um die in der Mundhöhle auftretenden Potentiale präsenmäßig genau bestimmen zu können, bedarf es eines geeigneten Meßinstrumentariums.

Der Versuch, zum Messen der Stromstärke ein Spiegelgalvanometer sehr hoher Empfindlichkeit zu benutzen, scheiterte. Die hohe Empfindlichkeit bedingte eine zu große Schwingungsdauer des Instrumentes. Es war nicht möglich, die Meßwerte nur annähernd genau abzulesen. Mit jedem Schlucken, jeder Zungenbewegung begann das Instrument erneut zu pendeln, und längst bevor es sich auf einen Wert einspielte, wurde es durch erneute Impulse in Schwingungen versetzt. Die beiden Elektroden zum Abnehmen des Stromes waren aus Platin.

Zum Messen der Potentialdifferenzen eignete sich das Korrens galvanometer "Galanster", Fabrikation Hermann Stähle, Stuttgart, das eigens für diesen Zweck konstruiert worden ist, besonders gut. Dieses Gerät ist in Millivolt geeicht. Eine Nachrechnung ergab, daß das Instrument zuverlässig arbeitet. Die beiden Elektroden bestehen aus V-A-Stahl. Nach dem experimentellen Anlegen der beiden Elektroden an die Zähne oder Füllungen war die Spannungsdifferenz eindeutig in Millivolt abzulesen. Die Einstellzeit des Instrumentes betrug höchstens eine Sekunde. Fehlergebnisse, wie sie bei Schlucken, Speichelfluß, Zungenbewegungen oder der theoretisch auftretenden Polarisation entstehen, wurden dadurch weitgehend ausgeschaltet.

Messung der Potentialdifferenzen

bei füllungsfreien Gebissen

Mit einiger Mühe gelang es, 9 Fälle mit vollkommen füllungsfreien Gebissen zu finden. Folgende Tabelle zeigt in 41 Meßergebnissen, daß selbst ohne jegliche metallische Füllungen zwischen den Zähnen erhebliche elektromotorische Kräfte auftreten.

	Bezeichnung des Zahnes	EMK in mV	Bezeichnung des Zahnes
1. Fall	6+	300	+6
	5+	40	+5
	8+	30	+8
	6 ₊	25	6 ⁺
	+6	25	6 ₊
	1 ₊	80	2 ⁺
2. Fall	7+	40	+7
	5+	15	+5
	6 ₊	20	+6
	1 ₊	20	+1
3. Fall	6 ₊	20	+6
	6+	20	+6
	5 ₊	10	+5
	1 ₊	5	+1
	4+	50	+4
	7+	80	+7
	5+	25	+5

	Bezeichnung des Zahnes	EMK in mV	Bezeichnung des Zahnes
4. Fall	1 ₊	20	+1
	6 ₊	25	+6
	+6	15	+4
	7 ₊	25	+6
5. Fall	1 ₊	98	1 ⁺
	3 ⁺	40	1 ⁺
	4 ₊	30	+6
6. Fall	6 ⁺	80	+6
	5 ⁺	40	+5
	8 ⁺	20	+8
	4 ⁺	40	+4
	7 ⁺	40	+7
	1 ₊	20	+1
7. Fall	2 ₊	20	+3
	3 ⁺	15	+2
	1 ⁺	10	1 ₊
8. Fall	7 ⁺	40	+7
	1 ₊	20	1 ⁺
	+1	30	+1
	+1	15	+2

	Bezeichnung des Zahnes	EMK in mV	Bezeichnung des Zahnes
9. Fall	1+	90	1+
	1+	40	3+
	8+	100	+8
	5+	80	+5

=====

41 Meßwerte 1938

$$\frac{1938}{41} = 46,78 \text{ mV}$$

Minimum : 5,0 mV

Maximum : 300,0 mV

Durchschnitt: 46,78 mV

Potentiale zwischen gleichen Goldfüllungen

Eine Reihe weiterer Versuche zeigte, daß eine Potentialdifferenz auch zwischen Goldfüllungen untereinander bestehen kann.

	Zahn mit Goldfüllung	EMK in mV	Zahn mit Goldfüllung
1. Fall	7+	240	+7
	+7	160	+6
2. Fall	+6	60	6+
	6+	15	+6
3. Fall	+6	50	+6
	+6	20	+8
	+5	10	+5
4. Fall	7+	25	+5
5. Fall	1+	35	+2
	7+	40	+6
6. Fall	4+	35	+6
7. Fall	8+	25	+7

12 Meßwerte 735

$$\frac{735}{12} = 61,25 \text{ mV}$$

Minimum : 15,0 mV
 Maximum : 240,0 mV
 Durchschnitt: 61,25 mV

Potentialdifferenzen zwischen Gold- und Amalgamfüllungen

	Zahn mit Goldfüllung	EMK in mV	Zahn mit Amalgamfüllung
1. Fall	+8	200	+6
	+5	220	6+
2. Fall	+7	160	5+
	+7	220	7+
	+7	100	7+
3. Fall	+6	220	7+
4. Fall	+6	180	7+
5. Fall	+3	180	+6
	+6	100	3+
6. Fall	+3	100	4+
	6+	200	4+
	6+	360	+7
7. Fall	+6	340	+7
8. Fall	5+	270	6+
9. Fall	6+	240	7+
	+6	260	+7
10. Fall	5+	120	+6
	+6	300	4+

	Zahn mit Goldfüllung	EMK in mV	Zahn mit Amalgamfüllung
11. Fall	+6	240	+5
12. Fall	+6	220	+4

=====

20 Meßwerte 4230

$$\frac{4230}{20} = 211,5 \text{ mV}$$

Minimum : 100 mV

Maximum : 360 mV

Mittelwert: 211,50 mV

Potentialdifferenzen zwischen Amalgamfüllungen

	Zahn mit Amalgam- füllung	EMK in mV	Zahn mit Amalgam- füllung
1. Fall	+6	20	6 ₊
2. Fall	+6	80	6 ₊
	+6	220	6 ⁺
3. Fall	+7	80	7 ₊
	+6	100	+4
	6 ₊	160	+6
4. Fall	+5	30	+7
	6 ₊	240	8 ₊
	6 ₊	160	+6
5. Fall	6 ₊	400	+6
	+6	20	6 ₊
	+7	100	+6
	+7	350	+6
6. Fall	6 ₊	200	6 ⁺
	+4	560	+5
7. Fall	6 ₊	200	+6
	+6	160	6 ₊
	+6	380	6 ₊
	6 ₊	220	6 ₊

	Zahn mit Amalgam- füllung	EMK in mV	Zahn mit Amalgam- füllung
8. Fall	6 ⁺	60	+6
	+6	60	6 ₊
	7 ⁺	220	+7
	6 ₊	120	+5
	7 ₊	100	+7
9. Fall	4 ₊	150	6 ₊
10. Fall	8 ₊	220	+4
11. Fall	6 ⁺	280	+7
	7 ⁺	40	5 ⁺
	6 ⁺	300	+5
	6 ⁺	300	+6
12. Fall	6 ⁺	60	+6
	+6	60	+7
	+6	200	+8
	6 ₊	200	+6
	5 ₊	40	6 ₊
	7 ₊	260	6 ₊
	6 ₊	240	+6
	6 ₊	120	6 ⁺

	Zahn mit Amalgam- füllung	EMK in mV	Zahn mit Amalgam- füllung
13. Fall	5 ₊	220	+6
	5 ₊	140	6 ₊
	+7	220	+7
14. Fall	6 ₊	185	+7
	+7	40	+6
	6 ₊	40	+6
	6 ₊	20	+6
	+7	100	+6
15. Fall	6 ₊	108	+6
	7 ₊	135	+7
	5 ₊	28	+6
	6 ₊	238	+6
	5 ₊	58	6 ₊
	7 ₊	140	+6
	7 ₊	300	+6
	6 ₊	120	6 ₊
16. Fall	6 ₊	242	+6
	6 ₊	185	+6
	7 ₊	142	+6
	6 ₊	160	+6
	+6	380	+6

	Zahn mit Amalgam- füllung	EMK in mV	Zahn mit Amalgam- füllung
17. Fall	7+	120	6+
	6+	180	7+
	+6	160	5
	6+	160	4+
18. Fall	6+	165	+6
	7+	202	+7
	6+	195	+6
	7+	160	+8
19. Fall	5+	180	+6
	5+	220	4+
	+6	135	6+

70 Meßwerte 11888

$$\frac{11888}{70} = 169,83 \text{ mV}$$

Minimum : 20,0 mV

Maximum : 480,0 mV

Mittelwert: 169,83 mV

Potentialdifferenzen zwischen Amalgam und Schleimhaut

Zahn mit Amalgam- füllung	EMK in mV	Schleimhaut des Mundbodens
+7	20	
6+	240	
6+	200	
6+	240	
3+	180	
+4	100	
+4	100	
+5	480	
6+	140	
8+	180	
+4	300	
6+	280	
6+	240	
+6	160	
7+	60	
6+	260	
+7	340	
+5	220	
+4	200	

19 Meßwerte

3940

$$\frac{3940}{19} = 207,37 \text{ mV}$$

Minimum : 20,0 mV

Maximum : 480,0 mV

Mittelwert: 207,37 mV

Diskussion

41 Meßwerte bei neun Fällen zeigen, daß auch bei vollkommen füllungsfreien Zähnen ganz erhebliche elektromotorische Kräfte auftreten können. Diese Spannung ist ein bio-elektrisches Grundpotential, das bei jedem Lebewesen in veränderlicher Höhe vorhanden ist. Auf Grundpotentiale bis zu 30 mV hat schon U. Rheinwald hingewiesen. Wie aus den Meßwerten ersichtlich, liegt das Maximum der hier gefundenen Werte bei 300 mV, das Minimum bei 5 mV und der errechnete Mittelwert bei 46,78 mV.

Die Kariesanfälligkeit oder den Beginn der Karies in Zusammenhang mit diesen Strömen zu bringen, ist sicher nicht berechtigt. Die durch diese geringen elektromotorischen Kräfte entstehenden Ströme, mit Speichel als Elektrolyten, dessen pH-Wert um 7 schwankt, sind nicht in der Lage, den ungelösten und nicht dissoziierten Schmelz anzugreifen. Nur bei künstlich angesetzten Versuchen mit starken Säuren und relativ hohen Spannungen wurde im Experiment eine Entkalkung von Zähnen eingeleitet. Die von Natur aus vorhandenen physiologischen und galvanischen Ströme der Mundhöhle reichen jedoch nicht aus, die Substanz der Zähne anzugreifen.

In der Fachliteratur ist nichts darüber bekannt, daß ein Patient bei einer Potentialdifferenz im Munde annähernd der Höhe des bio-elektrischen Grundpotentials von 47 mV zu Schaden gekommen sei. Nach U. Rheinwald können pathologische Symptome gelegentlich erst ab 200 mV auftreten. Mit Recht sind deshalb geringe Potentiale als harmlos anzusehen.

Potentiale zwischen Goldfüllungen

Wenn zwei gleiche Metalle in einem Elektrolyten ohne Konzentrationsunterschied als Elektroden wirken, entsteht normalerweise kein galvanisches Element. Die nach der Spannungsreihe errechnete Potentialdifferenz

ist gleich Null. Die Annahme, daß in der Mundhöhle die Verhältnisse analog seien, trifft nicht zu, wie die experimentellen Messungen ergeben. Der Einwand, es handle sich nur äußerlich um gleiche Metalle, ist nur teilweise berechtigt. In einigen Fällen konnte nachgewiesen werden, daß Goldfüllungen, die aus der gleichen Legierung und nach demselben Verfahren hergestellt wurden, erhebliche Potentialdifferenzen aufwiesen. In einem bestimmten Fall wurden zwei Inlays in einer Gummifolie gegossen und zusammen eingesetzt. Auch hier war zwischen den beiden Füllungen eine elektromotorische Kraft vorhanden. Dagegen ergaben Versuche in einer Petrischale mit Speichel als Elektrolyten und zwei gleichen Gold-elektroden keine Potentialdifferenz. Daraus geht hervor, daß wir im Munde keine einfachen galvanischen Elemente vor uns haben.

Die meßbaren Ströme setzen sich vielmehr aus folgenden verschiedenen Komponenten zusammen:

1. aus dem bio-elektrischen Grundpotential;
2. aus den galvanischen Elementen;
3. aus den konzentrationsabhängigen Elementen;
4. aus den Korrosionsströmen.

Interessant kann eine Abhängigkeit von der Oberfläche der Füllungen, von der Tiefe und Füllhöhe, von der Dicke der Unterfüllungen und deren in eingeblenden Saureteilen auftreten, weil dadurch einerseits die Konzentration der Elektrolyten an der Grenzfläche, andererseits der Widerstand verändert wird.

Die Messungen zwischen Goldfüllungen zeigten einen Mittelwert von 41,2 mV, ein Minimum von 15 mV und ein Maximum von 55 mV. Ob der hohe Wert des Maximums nicht auf einen unter der Goldfüllung versteckten Amalgamrest zurückzuführen ist, läßt sich nicht mit Sicherheit sagen.

Die elektromotorische Kraft zwischen Goldfüllungen liegt liegt nur um 14,3 mV über dem bio-elektrischen Grund-

potential der Mundhöhle. Diese Berechnungen lassen den Schluß zu, daß der Betrag eindeutig durch die Anwesenheit metallischer Fremdkörper in der Mundhöhle hervorgerufen wird. Ähnliche Werte wurden in der Chirurgie bei der Versenkung von Metallen in das menschliche Gewebe, insbesondere bei Marknagelungen, festgestellt.

Potentiale zwischen Gold- und Amalgamfüllungen

Es ist erklärlich, daß die beiden Metalle Gold und Amalgam, die auf der Spannungsreihe einen großen Abstand voneinander aufweisen, entsprechend den physikalischen Gesetzen im Munde eine hohe elektromotorische Kraft entstehen lassen.

Das Minimum der hierbei auftretenden Potentiale betrug 100 mV, das Maximum 360 mV und der Mittelwert 211,50 mV.

Allgemein wird angenommen, daß sehr hohe Potentialdifferenzen auftreten können, wenn eine Amalgamfüllung mit einer Goldfüllung in unmittelbarem Kontakt steht, weil dabei Korrosionsströme auftreten. In der Praxis wird zwar vermieden, Kronen oder Inlays aus Gold mit frischem Amalgam in Berührung zu bringen, doch werden alte Amalgamfüllungen oft unter Kronen bedenkenlos zurückgelassen. Besonders wenn diese beiden verschiedenen Metalle nicht genügend durch Befestigungszement voneinander isoliert sind, können sich erhebliche Korrosionsströme bilden. Wie aus einigen literarischen Berichten zu entnehmen, mußten deswegen schon Kronen und Brücken wieder abgenommen werden. Es ist deshalb angebracht, alle Reste von Amalgamfüllungen vor dem Aufsetzen von Kronen zu entfernen und die unmittelbare Berührung von Gold und Amalgam ganz zu vermeiden. Das Durchschnittspotential zwischen Gold- und Amalgamfüllungen liegt um 164,72 mV über dem Grundpotential der Mundhöhle.

Potentialdifferenzen zwischen Amalgamfüllungen

Im Gegensatz zu den geringen elektromotorischen Kräften zwischen Goldfüllungen treten bei Amalgamfüllungen hohe Potentialdifferenzen auf. Die größte elektromotorische Kraft zwischen zwei Amalgamfüllungen lag bei 160 mV, das Minimum betrug 20 mV, der Durchschnittswert 169,83 mV. Dieser Wert liegt um 127 mV über dem Grundpotential der Mundhöhle.

Aus diesen Zahlen geht hervor, daß zwischen einer Füllung aus Gold und einer aus Amalgam ein großer Unterschied hinsichtlich der elektrochemischen Wirkung besteht. Ohne auf die Schädlichkeit oder Harmlosigkeit der elektrischen Ströme im Munde näher einzugehen, kann gesagt werden, daß sich die galvanischen Potentiale der Zähne durch Amalgamfüllungen stark erhöhen.

Worin liegt die Ursache dieser elektromotorischen Kraft? Um diese Frage zu beantworten, muß man näher auf die Struktur der Amalgame eingehen.

Wie in den einführenden Bemerkungen schon gesagt, wurden Amalgame bereits von Auguste Taveau in Paris (1806) und J.L. Murphy in London (1827) aus Künstsilberfeileung und Quecksilber hergestellt. Amalgame werden also schon nahezu 180 Jahre in der Zahnheilkunde als Füllungsmaterial verwendet. Alle möglichen Kombinationen von Metall und Quecksilber wurden versucht, doch hat sich nur das Kupfer- und Silberamalgam gehalten. Kupferamalgam stellt eine untergeordnete Legierung dar. Sein physikalisches und elektrochemisches Verhalten ist dadurch sehr instabil. Es verfärbt sich und korrodiert leicht. Unklar sind noch die Vorgänge, die zu einer Erweichung des Kupferamalgams führen können. Sicher kann gesagt werden, daß sie elektrochemischer Natur sind.

Bei den Silberamalgame haben sich am besten die trinären Systeme bewahrt, bestehend aus Silber, Zinn und Quecksilber. Seit einigen Jahren sind die Legierungen mit hohem Silbergehalt besonders beliebt. Allgemein

wird angenommen, daß Amalgame während ihrer Erhärtungszeit, solange also die Kristallbildung noch nicht abgeschlossen ist, hohe Potentiale zu erzeugen vermögen. Um eine möglichst gleichmäßige Kristallbildung zu erreichen, ist es wichtig, dieses Füllungsmaterial gewissenhaft und vorschriftsmäßig zu verarbeiten. Es empfiehlt sich, die hochprozentigen Legierungen wegen ihrer kürzeren Erhärtungszeit zu verwenden. Unter Benutzung von Amalgamwaagen muß das Hg genauestens dosiert und anschließend genügend lange im Mörtel gerieben werden, damit nach einer guten Mischung die Diffusion des Quecksilbers in die Silber-Zinnlegierung leichter vonstatten geht. Es soll damit nach der Erhärtung des Amalgams eine möglichst homogene Legierung aus Silber, Zinn und Quecksilber erreicht werden. Für gewöhnlich sind im Amalgam Kristalle aus Ag_3Sn , Ag_3Hg_4 und $\text{Sn}_{82}\text{Hg}_{18}$ zu finden. Nach Ablauf der Härtezeit finden sich diese drei Kristallarten im Gleichgewicht. Freies Hg ist dann nicht mehr vorhanden.

Da das Amalgam feuchtigkeitsempfindlich ist, soll es nicht mit den Fingern berührt werden. Beim Legen und Stopfen der Füllung darf keine Feuchtigkeit hinzutreten. Nur bei guter und sachgemäßer Verarbeitung ist gleichmäßige Erhärtung und Kristallbildung gewährleistet. Auch G.W. Ferguson betont die Notwendigkeit, die Homogenität des Amalgams zu fördern. Das ist die einzige Methode, um ohnehin auftretende Potentialdifferenzen möglichst niedrig zu halten.

Keineswegs sei von der Verwendung der Silberamalgame abgeraten; es empfiehlt sich jedoch, dieses Füllungsmaterial nicht kritiklos zu benutzen.

Potentialdifferenzen zwischen Amalgam und Schleimhaut

Die Ergebnisse von 19 Fällen haben gezeigt, daß ganz erhebliche elektromotorische Kräfte zwischen den mit Amalgam gefüllten Zähnen und der drüsenreichen Schleimhaut des Mundbodens bestehen.

In einem einzigen Fall betrug die Potentialdifferenz zwischen einer Aluminiumkrone und der Zerkleinhaut 520 mV. Die elektromotorische Kraft zwischen derselben Al-Krone auf 4⁺ zu einer Amalgamfüllung auf 4₊ war 570 mV. Die benachbarte Gingiva und Mukosa wiesen Merkmale leichter Entzündung auf. Der Patient klagte über einen sauren Geschmack, den er an der Krone zeitweilig verspürte.

Um das Auftreten hoher Potentiale durch metallische Füllungen zu vermeiden, ist es wichtig, einige Grundsätze zu beobachten. Nach Möglichkeit sollen alleuviale verschiedene Metalle in einem Munde nicht verwendet werden. Auf keinen Fall darf Amalgam mit Gold in direkter Berührung stehen. Alle größeren Goldarbeiten müssen homogenisiert in die Mundhöhle eingeschleiert werden, um Korrosionsströme zu vermeiden. Auch E. Loshon hat darauf wiederholt hingewiesen. Unedle Metalle für Immediatarbeiten, auch wenn sie nur kurze Zeit im Munde getragen werden, heranzuziehen, ist nicht angebracht.

Zusammenfassung

Das Phänomen elektrischer Ströme in der Mundhöhle, hervorgerufen durch metallische Füllungen, wird schon über 100 Jahre beobachtet. Ähnliche Erscheinungen zeigten sich auch neuerdings in der Chirurgie bei Verpflanzung von Metallen in den menschlichen Körper.

Durch die Fortschritte im elektromedizinischen Gerätebau der letzten Jahre wurde es möglich, dieses Problem näher zu untersuchen und die Größenordnung der auftretenden Spannungen genau zu ermitteln.

Die vorliegenden Messungsergebnisse erhellen, daß ein Potential physiologisch in jeder Mundhöhle als bioelektrisches Grundpotential unabhängig von galvanischen Elementen vorkommt. Die Höhe dieses Potential-Mittelwertes beträgt 46,78 mV. Darüber hinaus können durch metallische Füllungen im Munde galvanische Elemente entstehen, die in der Lage sind, Spannungen bis zu 480 mV, in einzelnen nicht angeführten Fällen bis zu 1000 mV, zu erzeugen. Die Einzelwerte sind aus den Tabellen ersichtlich.

Als spannungserzeugende Quellen kommen in Betracht:

- 1.) das bio-elektrische Grundpotential,
- 2.) galvanische Elemente durch metallische Füllungen,
- 3.) Konzentrationselemente,
- 4.) Korrosionsströme.

Aus diesen vier Faktoren bauen sich die meßbaren Potentialdifferenzen auf.

Wie anfangs schon dargelegt, können diese Ströme zu bestimmten Krankheitssymptomen und auch zu entsprechenden Beschwerden führen. Einen bestimmten Wert als schädlich oder unschädlich zu bezeichnen, ist nach unseren Untersuchungen nicht möglich. Die Schädlichkeit darf nicht über-, aber auch nicht unterbewertet werden.

Altbewahrte Materialien aus dem Bereich der zahnärztlichen Praxis verbannen zu wollen, ist demnach nicht angebracht. Sie können unter Beachtung bestimmter Verarbeitungsvorschriften ohne Gefahr verwendet werden.

Im allgemeinen darf man den gemessenen Strahlen keine zu große Bedeutung beimessen.

Literaturverzeichnis

- B e t h e, A.: Allgemeine Physiologie, Springer-Verlag
Berlin 1952.
- B o t h e, R.T., D a v e n p o r t, H.A.: Reaction of
bone to multiple metallic implants.
Ref. Zerg.f.Chir. 1951/102, 61.
- B r o c k m a n n, R.: Elektrische Ströme im Mund,
Z.R. 1925/H.25/S. 395.
- C h a s e, H.S.: Jeder mit Metall gefüllte Zahn ist eine
galvanische Batterie, welche in Tätigkeit tritt,
sobald die zuströmende Flüssigkeit scharf re-
agiert. Korresp.f.Zahnärzte 1880/H.3/S.190.
- D e n n i g, H.: Lehrbuch der Inneren Medizin, Thieme-
Verlag Stuttgart 1954.
- D e u t s c h l ä n d e r, I.: Elektrische Ströme im
Mund. Z.R. 1925/H.20/S.304.
- D u b o i s, E.: zitiert nach Bethe, A.
- E b e r t, H.: Physikalisches Taschenbuch, V. Vieweg,
Braunschweig 1951.
- E i c h h o l z, F.: Lehrbuch der Pharmakologie.
Springer-Verlag Berlin 1955.
- E u l e r, Prof.: Vortrag auf dem 83. Jahrtag der Gesell-
schaft für Zahn- Mund- und Kieferheilkunde.
- E r k e s, F.: Neuralgiforme Schmerzen im Kiefergebiet
durch elektrische Ströme. D.Z.Z. 1954/Jg.9/
H.23/S. 1366.
- F a l k, Prof.: Einführung in die Werkstoffkunde für
Zahnärzte. Carl Hauser-Verlag München 1948.
- F e r g u s o n, G.W.: Rev. D.Z.Z.Jg.8/1953/H.15/S.825.

- F r ü n d, H.: Die Ursachen der Vereiterung implantierter Metallgegenstände bei Fixation von Knochenbrüchen und Knochenoperationen.
Zbl. f. Chir. 1946, Band 3, S. 2322.
- G r e v e, C.: Übersicht über die wichtigsten Geschehnisse in der Zahnheilkunde.
ZM 1953/Nr.7/S.228.
- G r i m s e h l; Lehrbuch der Physik, 1954. Klett-Verlag Stuttgart.
- H ä b l e r, C.: Störung der Knochenbruchheilung durch V₂A-Draht. Ref. Chirur 1955, Heft 7, S. 331.
- H a f n e r, H.: Untersuchungen zur Chemie des Speichels. D.Z.Z. 1953/Jg.8/H.14/S.766.
- H a l t m a i e r, K.M.: Ausschnitte aus der 82. Jahrestagung der Gesellschaft für Zahn- und Kieferheilkunde; Du und die Welt, H. Okt. 1954.
- H e n s c h e n, C.: Spektographische Untersuchungen über die von metallischen Fremdkörpern ausgehenden Metalllosen des Gewebes, bes. des Knochens. Zbl. f. Chir. 1934/Nr.14/S. 828.
- H i l l: zitiert nach Tholuck, H.J.
- K e r t ü m, G.: Lehrbuch der Elektrochemie. Dietrich-Verlag Wiesbaden 1948.
- K n a p p w o s t, A.: Über die Entstehung und Wirkung elektrischer Ströme bei Verwendung verschiedener Metalle im Mund. D.Z.Z. Rev.15/1953/S.848.
- L o e b l i c h, O.: Werkstoffproblem beim festsitzenden Zahnersatz. Rev. D.Z.Z. 1953/H.3/S.846.
- L o e b l i c h, O.: Z.M. 1954/Nr.24/S.837.
- M i l l e r, J.: Elektrische Vorgänge im Mund. Korresp. f.Zahnärzte 1881/Bd.X/H.3/S.165.
- M ü l l e r - H e t t l i n g e n: nach Bethe, A.
- O t t l, J.: zitiert nach Erkes, F.

- O r s o s, E.: Über stromerzeugende Knochennähte.
Zbl. f. Chir. 1925, Band 1, S. 1014.
- P o h l, R.W.: Einführung in die Elektrizitätslehre.
Berlin Springer-Verlag 1944.
- R e b e l l: Konservierende Zahnheilkunde, 1947.
Carl Hauser-Verlag.
- R o b i n, P.: Pathogenese der aus galvanischen Strö-
men resultierenden Zahnschmerzen und ihre
Therapie. Ref. Z. 1901/Nr.1/S.8.
- R h e i n w a l d, U.: Beiträge zur Elektrobiologie
der Mundhöhle. Z.W. 1953/Nr.2/S.32.
- R h e i n w a l d, U.: Zur Ursachenerkenntnis der Zahn-
karies. Z.M.K. 1948/Bd.11/S.197.
- R h e i n w a l d, U.: Z.M. 1954/Nr.24/S.838.
- S c h e l i g a, N.: Verfahren zur elektrolytischen
Entkalkung von Zähnen. Z.M.K. 1952/S.193.
- S c h r i e v e r, W.; D i a m o n d, L.E.: Elektro-
motive Forces and Electric Currents caused by
Metallic dental Fillings; Journal of dental
Research, 1952, vol. 31.
- T h i e l e m a n n, K.: Z.M. 1954/Nr.24.
- T r u e m a n n, Dr.: Die neue und die alte Richtung.
Korresp. f. Zahnärzte 1879/H.3/S.145.
- T h o l u c k, H.J.: Die Entstehung und Wirkung elektri-
schen Stromes in der Mundhöhle. M.m.W. 1925/
H.13/S. 518.
- T o u r a i n e, A.: Stomatites et leucoplasies électro-
galvaniques, Rev. Stomat. (Fr.) 1938/H.3/40.
- W e s t p h a l, W.: Physik. Springer-Verlag Berlin 1950.
- W i n k l e r, L.: Ursachen der Gewebsreaktion bei
Osteosynthesen mit Metallen. Zbl.f.Chir.1952/
77/S.665.
- W i t z e l: zitiert nach Tholuck, H.J.

Es ist mir ein besonderes Bedürfnis, an dieser Stelle
Herrn Professor Dr.Dr. Paschke für die liebenswürdige
Überlassung des Themas und die freundliche Übernahme
des Referates zu danken.

Lebenslauf

Als Sohn des Landwirtes Georg Schmidberger und seiner Ehefrau Maria, geb. Wöhrle, wurde ich am 1. November 1931 in Waltenhausen Kreis Krumbach/Bayern geboren. Nach fünfjährigem Besuch der Volksschule an meinem Wohnort und in Günzburg/Donau trat ich 1943 in das Gymnasium in Dillingen/Donau ein und legte 1952 in dieser Anstalt nach neunjähriger Schulzeit die Reifeprüfung ab. Im gleichen Jahr begann ich an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen mit dem Studium der Zahnheilkunde. Im Mai 1954 legte ich die zahnmedizinische Vorprüfung und im Juli 1956 die zahnärztliche Prüfung ab.

Georg Schmidberger

